

## PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT HASIL DEKOMISIONING FASILITAS INSTALASI PEMURNIAN ASAM FOSFAT PETROKIMIA GRESIK

Bung Tomo, Irwan Santoso

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) – BATAN, Serpong

### ABSTRAK

PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT HASIL DEKOMISIONING FASILITAS PEMURNIAN ASAM FOSFAT PETROKIMIA GRESIK. Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Asam Fosfat – Petrokimia Gresik (PAF-PKG) adalah untuk menghentikan secara tetap beroperasinya fasilitas PAF-PKG yang digunakan untuk memproduksi “yellow cake”. Limbah hasil dekomisioning berupa limbah padat, cair, sludge dan yellow cake diolah oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Tujuan pengolahan adalah untuk mengungkung limbah dan mengurangi laju dosis paparan yang ditimbulkannya. Pengolahan limbah padat dilakukan dengan cara immobilisasi menggunakan matriks semen. Limbah padat dipreparasi dan dimasukkan dalam drum 100 liter, selanjutnya drum 100 liter yang sudah berisi limbah dimasukkan dalam drum 200 liter untuk menjalani proses immobilisasi. Adonan semen dibuat dengan komposisi 1 liter adonan semen terdiri dari 1,313 kg semen; 0,328 kg pasir; 0,437 liter air; 0,029 liter aditif. Dosis paparan limbah sebelum diolah antara 0,25 – 25,00  $\mu\text{Sv/jam}$  dan paparan setelah diolah antara 0,17 - 9,31  $\mu\text{Sv/jam}$ . Densitas bulk dari drum 200 liter hasil immobilisasi antara 1250 - 2330  $\text{kg/m}^3$ . Pada pengolahan limbah radioaktif padat hasil dekomisioning Instalasi PAF-PKG dengan cara immobilisasi dengan matrik semen telah diperoleh 149 drum 200 liter.

### ABSTRACT

**TREATMENT OF SOLID RADIOACTIVE WASTE RESULTED FROM DECOMMISSIONING OF PHOSPHORIC ACID PURIFICATION FACILITY PETROKIMIA GRESIK.** Decomissioning of phosphoric acid purification facility Petrokimia Gresik (PAF-PKG) was performed to stop permanently the operation of facility for taking “yellow cake”. Decomissioning activities results the solid waste, liquid waste, sludge and remaining powder. All of them were handled on Radioactive Waste Technology Centre. The objective of that radioactive waste treatment is to shield radioactive waste and reduce waste exposure dose. Method of treatment is immobilization by cement matrix. Solid waste and then putted in to 100 litre drum for immobilization process on the 200 litre drum. The composition of 1 litre cement slurry is 1,313 kgs cement; 0,328 kgs sand; 0,437 litre water; 0,029 litre additive. Radiation doses of waste before treatment is 0,25 – 25,00  $\mu\text{Sv/hr}$  and after treatment is 0,17 - 9,31  $\mu\text{Sv/hr}$ . The bulk density of solidified 200 litre drum is 1250 - 2330  $\text{kg/m}^3$ . Radioactive waste from decomissioning PAF-PKG was immobilized into 149 drum of 200 litre.

### PENDAHULUAN

Fasilitas Pemurnian Asam Fosfat PT. Petrokimia Gresik (PAF PKG) berfungsi untuk pengambilan uranium dari asam fosfat melalui proses ekstraksi bertahap. Fasilitas tersebut dihentikan operasinya sejak bulan agustus 1989 dikarenakan sulitnya pemasaran produk yellow cake, mengingat operasinya memakai uranium sebagai umpan proses maka untuk mengupayakan keselamatan personel dan lingkungan, akan dilakukan dekomisioning.

Kegiatan dekomisioning meliputi pengosongan isi larutan atau padatan sisa proses dari peralatan, pengukuran kontaminasi dan paparan radiasi permukaan alat, pembongkaran peralatan, dekontaminasi lantai dan dinding beton. Lokasi yang didekomisioning diklasifikasikan dalam zona, I, II, III, IV. Pada zona I merupakan sarana

penunjang pabrik, daerah persiapan awal untuk proses pemurnian asam fosfat, dilokasi tersebut bahan baku asam fosfat dibersihkan dari pengotornya paparan radiasi terukur adalah 0,10 – 0,16  $\mu\text{Sv/jam}$ , background 0,13  $\pm$  0,02  $\mu\text{Sv/jam}$ . Pada zona II merupakan daerah ekstraksi tahap I dan stripping, pada zona II paparan radiasinya antara 0,10 – 0,95  $\mu\text{Sv/jam}$  Zona I dan Zona II mengandung zat radioaktif begitu kecil dan termasuk dalam kriteria aman dengan aktivitas permukaan lebih kecil dari klirens, sehingga pada zona ini bebas dari pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). Zona III merupakan daerah proses ekstraksi tahap II, *solven scrubbing* (pemisahan asam fosfat dari larutan organik yang mengandung  $\text{U}^{+6}$  pekat), pada zona III mempunyai paparan radiasi antara 0,15 – 2,10  $\mu\text{Sv/jam}$ . Zona IV merupakan daerah proses pemisahan *gunk* (fase pengotor) yang ditimbulkan dari proses

ekstraksi, proses kalsinasi untuk merubah ammonium diuranat (ADU) menjadi produk uranium oksida  $U_2O_8$  dan proses pengemasan produk tersebut. Pada Zona ini mempunyai paparan radiasi antara 0,12 – 25,00  $\mu Sv/jam$  dan kontaminasi permukaan luar alat 0,37  $Bq/cm^2$  [1].

Limbah hasil proses dekomisioning zona III dan IV telah dikirim ke Pusat Teknologi Limbah radioaktif (PTLR)- BATAN pada tanggal 17 Juli 2008 adapun jenis limbahnya antara lain: [2]

- Limbah padat dalam drum 200 liter berjumlah 69 buah drum,
- Limbah padat dalam drum 150 liter berjumlah 25 buah drum.
- Limbah berupa sludge dalam drum 150 liter berjumlah 16 buah drum.
- Limbah yellow cake dalam drum 150 liter berjumlah 7 buah drum.
- Limbah cair dalam drum 150 liter berjumlah 4 buah drum.
- Limbah padat berupa bekas peralatan 2 ton dalam kotak kayu.
- Limbah padat berupa sumber bekas ada 2 buah masing – masing 50 kg.

Limbah hasil dekomisioning yang berupa bahan radioaktif atau bekas peralatan yang terkontaminasi radioaktif tersebut selanjutnya dikelola oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR), sebagai satu-satunya badan yang berwenang melakukan pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia. Limbah radioaktif padat berupa bongkahan semen, batu tahan api, sludge, *yellow cake*, dan bekas-bekas peralatan diklasifikasikan dalam jenis limbah radioaktif padat aktivitas rendah tak terkompaksi dan tak terbakar, dan limbah tersebut disortir dan dimasukkan dalam drum 100 L warna kuning dan metoda pengolahan dilakukan immobilisasi dengan matriks semen.

## TEORI

Limbah hasil dikomisioning Instalasi Fasilitas Asam Fosfat – Petrokimia Gresik yang berupa padatan dan slude dikategorikan

sebagai limbah padat takterkompaksi dan takterbakar dan mempunyai aktivitas rendah (maksimal 25  $\mu Sv/jam$ ). Limbah diolah dengan cara immobilisasi dalam kontainer drum 200 liter dan ditambah dengan bahan matriks semen, Immobilisasi dengan matrik semen berfungsi sebagai penahan I untuk mengungkung dan mengikat radionuklida yang terkandung dalam limbah agar tidak mudah lepas kelingkungan. Sedangkan fungsi dari kontainer adalah sebagai wadah tempat immobilisasi, berperan sebagai penahan II untuk menahan terlepasnya radionuklida ke lingkungan dan juga untuk mencegah pengaruh kerusakan yang berasal dari sekitarnya selama penyimpanan [3]. Setelah limbah diimmobilisasi akan terjadi pengurangan kuantitas radiasi pada saat radiasi menembus materi semen akibat interaksi antara radiasi dengan materi tersebut atau disebut dengan atenuasi. Koefisien atenuasi materi adalah fraksi berkas radiasi yang diserap pada saat radiasi menembus materi setebal  $\Delta x$  cm.

Koefisien atenuasi dihitung dengan rumus:

$$A_1 = A_0 \cdot E^{-\mu x} \quad [1]$$

Keterangan :

$A_1$  = Paparan limbah setelah diolah ( $\mu Sv/jam$ )

$A_0$  = Paparan limbah sebelum diolah ( $\mu Sv/jam$ )

$x$  = Tebal panahan (cm)

$\mu$  = Koefisien atenuasi linier ( $cm^{-1}$ )

Hasil immobilisasi limbah dalam drum 200 liter dapat dihitung densitas bulknya, densitas bulk adalah berat persatuan volume produk secara keseluruhan dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots kg / m^3 \quad [2]$$

keterangan :

$\rho$  = Densitas *Bulk* .....  $kg/m^3$

$m$  = Masa ..... kg

$v$  = Volume .....  $m^3$

## TATA KERJA

### Bahan

Limbah yang diolah berasal dari dekomisioning Fasilitas Pemurnian Asam Fosfat – Petro Kimia Gresik (PAF-PKG) berupa, batu tahan api, batu, bata, bongkahan lantai, bongkahan dinding beton, sludge, dan yellow cake. Drum 200 liter, drum 100 liter, semen, aditif (tricosal), pasir, air, batu koral diameter 2,5 cm dan batu koral diameter 5 cm.

### Alat :

Pada Pengolahan limbah radioaktif padat dengan matrik semen dipergunakan alat sebagai berikut : Seperangkat unit pembuatan semen *slurry*, seperangkat unit pencampur semen dan pasir, meja getar, pompa peristaltik, *drip tray*, sungkup yang dilengkapi dengan VAC- Off Gas, fasilitas penampung *settler*.

### Metode

Proses imobilisasi dengan matriks semen merupakan rangkaian beberapa kegiatan meliputi penyortiran limbah dan pewadahan limbah dalam drum 100 liter, preparasi drum 200 liter, pembuatan adonan semen (*cement slurry*), proses imobilisasi, pengukuran paparan limbah, penguncian, penimbangan dan penyimpanan ke *interim storage*.

#### a. Preparasi drum 200 liter

Drum 200 liter berwarna merah disiapkan dan diberi nomor identifikasi, pada bagian dasar drum 200 liter diberi batu kali berdiameter 5 cm yang berfungsi untuk memberi rongga agar adonan semen bisa masuk ke bawah drum 100 liter. Kemudian drum 100 liter yang telah berisi limbah dimasukkan ke dalam drum 200 liter dan pada sela – sela antara drum 200 liter dan 100 liter di beri koral berdiameter 2,5 cm sampai penuh.

Palang anti dispersal diletakan pada permukaan drum 200 liter dan dikunci dengan menggunakan pengunci khusus, ini dimaksudkan untuk menahan agar drum 100 liter pada saat diberi adonan semen tidak terangkat.

#### b. Proses pembuatan matrik semen<sup>[4]</sup>

*Slurry* semen dibuat didalam sebuah “mixer” M 32001 terbuat dari baja karbon

dengan kapasitas 200 liter dan dilengkapi dengan sebuah motor pengaduk dengan daya 11 kW. Bahan – bahan yang digunakan meliputi: pasir, semen, air dan aditif. Penimbangan dan pencampuran antara semen dan pasir dilakukan dalam unit pembuatan campuran beton kering. Untuk imobilisasi satu drum 200 liter dibutuhkan kurang lebih 60 liter *slurry* semen, komposisi 1 liter *slurry* semen terdiri dari 1,313 kg semen; 0,328 kg pasir; 0,437 liter air; 0,029 liter aditif. Air dan aditif dimasukkan dalam tangki pencampur sesuai dengan ukuran, campuran semen kering dan pasir ditimbang sesuai dengan kebutuhan kemudian dimasukkan dalam tangki pencampur secara bertahap sambil diaduk sampai homogen dan siap untuk imobilisasi. Gambar unit pembuatan semen *slurry* dapat dilihat pada **Gambar 1.a**.

#### c. Proses imobilisasi dengan matrik semen<sup>[5]</sup>

Drum 200 liter yang telah berisi limbah dan dikunci tempatkan diatas meja getar, sungkup R 32001 yang dilengkapi dengan sistim ventilasi off-gas diletakkan diatas drum 200 liter (**Gambar 1.b**). Meja getar dioperasikan seiring dengan pengisian adonan *slurry* semen kedalam drum 200 liter. *Slurry* semen didorong melalui pompa peristaltik P 32021 ke dalam drum 200 liter dengan debit 0,8 m<sup>3</sup>/h. Pompa terus bekerja memindahkan *slurry* semen kedalam drum 200 liter dan digetarkan sehingga adonan semen masuk ke dalam dasar drum. Setelah drum hampir penuh debit aliran pompa dipindahkan ke 0,4 m<sup>3</sup>/h untuk mencegah pengisian yang berlebihan. Setelah drum penuh, operasi meja getar dan pompa *slurry* dihentikan. Kemudian drum diangkat dengan menggunakan *crane* dan pindahkan ke atas palet. Operasi dilanjutkan untuk imobilisasi drum 200 liter yang lain.

Drum yang telah di imobilisasi dibiarkan selama 16 jam, pengunci dibuka dan kemudian dilakukan pengecoran lagi untuk penutupan sampai pada permukaan drum dan dibiarkan lagi selama 8 jam. Setelah adonan semen kering kemudian dilakukan penutupan dan penguncian drum serta dilanjutkan dengan pengukuran dosis paparan. Drum yang telah diukur paparannya ditimbang dan ditulis pada label yang ditempel permukaan drum kemudian drum ditempatkan pada palet dan siap untuk disimpan di *interim storage*.



**Gambar 1.**  
a. Unit Pembuatan semen *slurry*  
b. Unit Immobilisasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan limbah sebelum immobilisasi adalah dengan mengklasifikasikan untuk mengkategorikan limbah radioaktif tingkat rendah atau sedang. Dari data limbah paparan maksimum 25,00  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , ini dikategorikan jenis limbah aktivitas rendah tetapi mempunyai waktu paro yang panjang (Uranium 235,  $t_{1/2} : 7,1 \times 10^8$  tahun). Limbah kemudian disortir dengan tujuan untuk memisahkan limbah padat kedalam bermacam – macam kelompok menurut tingkatan, jenis kontaminasi, sifat – sifat fisika dan kimianya. *Pretreatment* ini merupakan langkah penting bagi pemerataan, keberhasilan dan keselamatan pelaksanaan langkah – langkah pengolahan limbah tahap selanjutnya. Instansi dan industri yang menimbulkan limbah sebaiknya harus memiliki pengetahuan yang memadai mengenai jenis limbah yang ditimbulkan dan metoda pengelolaannya. Limbah hasil dekomisioning jenis padat tak termampatkan dan tak terbakar diolah dengan cara immobilisasi dalam kontiner drum 200 liter dengan bahan matriks semen. Matriks semen berfungsi untuk mengungkung dan mengikat radionuklida yang terkandung dalam limbah agar tidak mudah lepas ke lingkungan.

Sedangkan fungsi dari kontainer/wadah tempat immobilisasi adalah untuk menahan terlepasnya radionuklida ke lingkungan dan juga untuk mencegah pengaruh kerusakan yang berasal dari sekitarnya selama penyimpanan<sup>[3]</sup>.

Pada Tabel 1 limbah yang diolah berupa batu tahan api, bongkahan batu, bata. Jumlah limbah yang diolah berjumlah 39 drum 200 liter. Rinciannya adalah batu tahan api berjumlah 10 drum 200 liter, bongkahan batu berjumlah 10 drum 200 liter, bata berjumlah 19 drum 200 liter. Paparan sebelum diolah antara 0,19  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 14,00  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ .

Setelah limbah diolah paparannya menjadi lebih kecil antara 0,10  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 0,28  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  sehingga sangat aman untuk disimpan di *Interim Storage*. Batasan aman yang diijinkan bagi pekerja yaitu  $\leq 7,5$   $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , sehingga paparan radiasi lingkungan tempat penyimpanan jauh dibawah batas yang diijinkan, sehingga sangat aman. *Densitas bulk* hasil pengolahan diatas standar yang diijinkan yaitu menurut standar AEA  $\rho = 1700$  s/d  $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , kecuali pada drum nomor 781 dan 796. ini disebabkan karena faktor penggetaran pada saat pengisian semen *slurry* tidak maksimal.

Pada Tabel 2, limbah yang diolah berupa bongkahan beton, dan bongkahan lantai berupa puing, pasir dan tanah. Jumlah limbah yang diolah berjumlah 73 drum 200 liter. Rincian rinciannya adalah bongkahan beton berjumlah 20 drum 200 liter, bongkahan lantai yang terdiri dari puing – puing berjumlah 35 drum 200 liter, pasir berjumlah 5 drum 200 liter. Paparan sebelum diolah antara 0,30  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 14,00  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Setelah limbah diolah paparannya menjadi lebih kecil antara 0,18  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 6,40  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  sehingga sangat aman untuk disimpan di *Interim Storage*. Batasan aman yang diijinkan bagi pekerja yaitu  $\leq 7,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ , sehingga paparan radiasi lingkungan tempat penyimpanan jauh dibawah batas yang diijinkan, sehingga sangat aman. *Densitas bulk* hasil pengolahan bongkahan beton diatas standar yang diijinkan yaitu menurut standar AEA  $\rho = 1700$  s/d  $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , kecuali pada limbah yang berupa tanah, pasir dan puing, berjumlah 26 drum yang mempunyai densitas bulk dibawah standar ini disebabkan karena densitas limbah berpengaruh pada densitas secara keseluruhan.

Pada Tabel 3, limbah yang diolah berupa *yellow cake*. Jumlah limbah yang diolah berjumlah 20 drum 200 liter. Paparan sebelum diolah cukup besar antara 1,60  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 25  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Setelah limbah diolah paparannya menjadi lebih kecil antara 1,50  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 9,31  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  sehingga masih dalam batas aman untuk disimpan di *Interim Storage*.

Batasan aman yang diijinkan bagi pekerja yaitu  $\leq 7,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ , sehingga paparan radiasi lingkungan tempat penyimpanan jauh dibawah batas yang diijinkan, kecuali pada drum 200 liter nomor 801, 807, dan 821 sedikit diatas batas yang diijinkan. . *Densitas bulk* hasil pengolahan *yellow cake* semua dibawah standar yang diijinkan yaitu menurut standar AEA  $\rho = 1700$  s/d  $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , disebabkan karena densitas limbah *yellow cake* kecil sehingga berpengaruh pada densitas secara keseluruhan.

Pada Tabel 4, limbah yang diolah berupa sludge, serbuk, botol reagent, fosfat, bata, besi dan karet. Jumlah limbah yang

diolah berjumlah 17 drum 200 liter. Paparan sebelum diolah antara 0,40  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 15,20  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Setelah limbah diolah paparannya menjadi lebih kecil antara 0,19  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  s/d 1,91  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  sehingga masih dalam batas aman untuk disimpan di *Interim Storage*. Batasan aman yang diijinkan bagi pekerja yaitu  $\leq 7,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ , sehingga paparan radiasi lingkungan tempat penyimpanan jauh dibawah batas yang diijinkan. *Densitas bulk* hasil pengolahan diatas standar yang diijinkan yaitu menurut standar AEA  $\rho = 1700$  s/d  $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , ada 7 buah drum yang mempunyai densitas sedikit dibawah standar, disebabkan karena densitas limbah yang diolah densitasnya cukup kecil sehingga berpengaruh pada densitas secara keseluruhan.

## KESIMPULAN

Limbah padat yang berasal dari dekomisioning Instalasi Pemurnian Asam Fosfat – Petro Kimia Gresik telah dilakukan pengolahan dengan cara immobilisasi dengan matrik semen. Immobilisasi dengan menggunakan matrik semen menghasilkan volume limbah olahan yang lebih besar karena adanya penambahan matrik dan wadah immobilisasi, hal ini tidak menjadi masalah karena tujuan pengungkungan limbah tercapai.

Volume limbah olahan yang lebih besar dari limbah mentah, tentunya akan mempengaruhi luas tempat penyimpanan sementara/lestari yang diperlukan. Hasil immobilisasi berjumlah 149 buah drum 200 liter. Dosis paparan limbah sebelum diolah antara 0,25 – 25,00  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  dan paparan setelah diolah antara 0,17 - 9,31  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , dengan kisaran paparan tersebut maka sangat aman untuk disimpan di *interim storage*.

Densitas bulk dari drum 200 liter hasil immobilisasi antara 1250 - 2330  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Persyaratan densitas bulk hasil immobilisasi dengan matriks semen menurut standar IAEA adalah 1700 - 2500  $\text{kg}/\text{m}^3$ .<sup>[6]</sup>, limbah olahan yang memenuhi standard tersebut berjumlah 89 drum (60%) 200 liter dan 60 drum (40%) drum 200 liter memiliki densitas bulk dibawah 1700  $\text{kg}/\text{m}^3$  ini. Hal ini disebabkan karena densitas limbah mentah berpengaruh terhadap densitas matrik semen secara keseluruhan<sup>[7]</sup>.

## SARAN

Campuran semen kering yang dikirim ke unit pembuatan semen *slurry* bebas dari batu kerikil, karena menyebabkan sobek/rusaknya pipa peristaltik karet[ pada pompa peristaltik

## DAFTAR PUSTAKA

1. Salimin Z, "Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Asam Fosfat Petrokimia Gresik", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VI, PTLR – BATAN, 24 Juni 2008.
2. Bidang Pengolahan Limbah PTLR – BATAN, "Data limbah yang dikirim dari Instansi lain", Tahun 2008.
3. WASITO, "Pengolahan Limbah Radioaktif Padat", PTPLR Tahun 1998.
4. Petunjuk Operasional Pembuatan *slurry* semen, WSPG 320 USN 0502.
5. Petunjuk Operasioanal Proses immobilisasi, WSPG 320 USN 0503.
6. ELDSEN, A.D. at all, "A process for the Immobilization of a Radioactive Waste in Cement matrix", Proceeding A Symposium Conditioning of Radioactive Waste for Storage and Disposal IAEA, Vienna 1983.
7. Roger D., Spence, "Chemistry Microstructure of Solidified Waste Forms", Lewis Publisher, Florida 1993.

**Tabel 1.** Data hasil pengolahan limbah padat batu tahan api, bongkahan batu, bata

No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Koefesien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Densitas Bulk ( $\text{kg/m}^3$ )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
1	699	1291	0.30	0,20	0.196	2250	450	Batu tahan api
2	698	1293	0.60	0,24	0.105	2310	462	
3	695	1305	0.29	0,20	0.209	2310	462	
4	702	1309	0,26	0,19	0.430	2150	430	
5	704	1311	0,24	0,24	0.384	2235	447	
6	705	1313	0,28	0,26	0.664	2165	433	
7	770	1294	0,19	0,10	0.255	<b>1545</b>	309	
8	795	1306	0.31	0,28	0.097	<b>1610</b>	322	
9	687	1289	0.32	0,22	0.062	2080	416	
10	688	1288	0.32	0,23	0.186	1875	375	
11	696	1297	0.28	0,20	0.183	2260	452	Bongkahan batu
12	701	1304	0,21	0,18	0.341	2250	450	
13	781	1307	0.81	0,23	0.210	<b>1590</b>	318	
14	796	1312	0.44	0,27	0.081	<b>1650</b>	330	
15	759	1338	0.35	0,23	0.070	1715	343	
16	734	1339	0.25	0,24	0.007	1710	342	
17	673	1274	0,26	0,23	0.092	2275	455	
18	674	1275	0,28	0,28	0.387	1925	385	
19	675	1276	0,27	0,27	0.181	1900	380	
20	676	1277	0,27	0,28	0.378	1910	382	
21	703	1308	0,34	0,14	0.243	2330	466	Bata
22	690	1310	0,50	0,83	0.315	2260	452	
23	707	1315	0,32	0,20	0.357	2210	442	
24	710	1337	0,26	0,09	0.702	2300	460	
25	724	1343	0,39	0,21	0.469	2220	444	
26	712	1352	0.98	0,23	0.241	2065	413	
27	692	1353	0.40	0,18	0.133	2275	455	
28	694	1361	0.75	0,34	0.132	2255	451	
29	713	1362	1.30	0,22	0.296	2350	470	
30	715	1363	0.25	0,19	0.046	2215	443	
31	714	1366	14.0	0,17	0.735	2225	445	
32	716	1378	0.36	0,26	0.054	2210	442	
33	719	1382	0.42	0,28	0.068	2200	440	
34	720	1386	1.30	0,28	0.256	2470	494	

No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Koefesien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Densitas Bulk ( $\text{kg/m}^3$ )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
45	721	1399	0.35	0,22	0.077	2315	463	
46	722	1401	0.42	0,28	0.068	2295	459	
37	723	1403	1.50	0,27	0.286	2205	441	
38	727	1402	0.90	0,23	0.227	2330	466	
39	708	1342	6.50	0,19	0.589	2170	434	
Jumlah limbah terolah = 39 drum 200 liter								

**Tabel 2.** Data hasil pengolahan limbah padat bongkahan beton dan lantai

No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Koefesien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Densitas Bulk ( $\text{kg/m}^3$ )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
1	677	1278	0.30	0,19	0.076	1900	380	Bongkahan Beton
2	678	1279	1.85	0,22	0.355	1945	389	
3	679	1280	0.30	0,18	0.085	2285	457	
4	680	1281	0.60	0,22	0.167	1885	377	
5	681	1283	0.29	0,22	0.046	1925	385	
6	682	1282	0.33	0,24	0.053	1925	492	
7	683	1284	0.30	0,25	0.030	1890	378	
8	684	1285	0.29	0,17	0.089	1875	375	
9	685	1286	0.65	0,26	0.153	1880	376	
10	686	1287	0.27	0,22	0.034	1955	391	
11	691	1346	3.50	0,22	0.461	2250	450	
12	693	1345	0.70	0,26	0.165	2215	443	
13	697	1301	0.70	0,32	0.130	2215	425	
14	700	1303	0.50	0,22	0.137	2295	459	
15	706	1319	2.50	0,19	0.429	2235	447	
16	709	1323	0.60	0,17	0.210	2135	427	
17	711	1334	0.61	0,24	0.393	2260	452	
18	717	1379	0.90	0,39	0.139	2070	414	
19	718	1380	0.35	0,20	0.093	2090	418	
20	726	1391	0.35	0,22	0.077	2280	456	
21	797	1321	0.60	0,28	0.127	<b>1410</b>	282	Puing
22	798	1320	0.60	0,28	0.127	<b>1450</b>	290	



No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Koefesien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Densitas Bulk ( $\text{kg/m}^3$ )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
23	746	1322	2.40	0,24	0.384	1820	364	
24	747	1326	0.40	0,20	0.116	<b>1635</b>	327	
25	748	1325	1.60	0,23	0.323	1845	369	
26	749	1327	0.45	0,25	0.482	<b>1650</b>	330	
27	750	1324	1.37	0,40	0.205	<b>1695</b>	339	
28	745	1328	0.38	0,22	0.091	2085	417	
29	753	1330	4.00	0,28	0.443	1945	389	
30	754	1331	1.50	0,25	0.295	1960	392	
31	756	1329	0.30	0,26	0.023	2020	404	
32	732	1347	0.39	0,25	0.074	1855	371	
33	733	1344	0.30	0,20	0.068	1875	375	
34	728	1349	3.80	0,52	0.331	<b>1655</b>	331	
35	729	1355	1.73	0,20	0.360	1945	389	
36	731	1354	1.40	0,19	0.332	<b>1665</b>	333	
37	735	1358	0.38	0,21	0,099	1940	388	
38	736	1356	0.60	0,26	0.206	1875	375	
39	778	1360	0,53	0,42	0,039	<b>1645</b>	329	
40	788	1357	0.50	0,34	0.064	<b>1685</b>	337	
41	789	1359	0.34	0,27	0.038	<b>1630</b>	326	
42	791	1367	3.50	0,42	0.353	<b>1610</b>	322	
43	742	1369	1.24	0,21	0.290	1855	371	
44	790	1368	0.58	0,29	0.116	<b>1640</b>	328	
45	739	1371	0.47	0,27	0.092	1940	388	
46	740	1372	2.13	0,20	0.394	<b>1685</b>	337	
47	786	1370	0.58	0,26	0.134	<b>1570</b>	314	
48	738	1375	0.46	0,22	0.122	1940	388	
49	782	1377	1.30	0,24	0.282	<b>1635</b>	323	
50	744	1381	0.61	0,29	0.124	2105	421	
51	741	1373	0.43	0,23	0.104	1925	385	
52	743	1394	6.50	0,40	0.464	2080	416	
53	758	1392	0.50	0,22	0.137	1785	357	
54	769	1395	1,34	0,37	0,214	1685	337	
55	767	1398	3.13	1,60	0.112	<b>1465</b>	293	
56	793	1316	0.70	0,34	0.120	<b>1555</b>	311	Pasir
57	794	1318	0.70	0,28	0..153	<b>1605</b>	321	

No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah (μSv/jam)	Paparan Setelah diolah (μSv/jam)	Koefesien Atenuasi (cm <sup>-1</sup> )	Densitas Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
58	761	1350	0.28	0,23	0.033	1910	382	
59	730	1348	0.38	0,27	0.056	1910	382	
60	787	1351	0.78	0,31	0.134	<b>1630</b>	326	
61	783	1384	3.80	0,38	0.384	<b>1560</b>	312	Tanah
62	760	1389	0.42	0,18	0.141	1805	361	
63	764	1393	14.00	1,39	0.384	1865	373	
64	<b>765</b>	1400	7.75	2,66	0.178	1865	373	
65	766	1396	12.50	2,32	0.280	1735	347	
66	768	1397	6.84	2,58	0.162	1910	382	
67	779	1387	1.20	0,34	0.210	<b>1520</b>	304	
68	792	1406	3.00	0,55	0.282	<b>1455</b>	291	
69	799	1408	0.42	0,32	0.045	<b>1695</b>	339	
70	804	1405	1.10	0,31	0.211	1700	340	
71	805	1407	0.91	0,37	0.150	<b>1670</b>	334	
72	810	1404	0.42	0,25	0.086	<b>1555</b>	311	
73	812	1409	9.50	6,40	0.066	<b>1655</b>	331	
Jumlah limbah terolah = 73 drum 200 liter								

**Tabel 3.** Data hasil pengolahan limbah padat yellow cake

No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Koefesien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Densitas Bulk ( $\text{kg/m}^3$ )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
1	803	1314	18.10	5,20	0.208	<b>1465</b>	293	Yellow cake
2	801	1317	18.10	<b>8,45</b>	0.127	<b>1515</b>	303	
3	816	1333	13,20	6,11	0.150	<b>1405</b>	281	
4	800	1365	1.60	1,50	0.011	<b>1095</b>	219	
5	818	1364	4.10	2,17	0.106	<b>1500</b>	300	
6	802	1376	6.28	3,45	0.010	<b>1355</b>	271	
7	809	1410	11.20	3,99	0.172	<b>1365</b>	273	
8	806	1411	14.00	3,50	0.231	<b>1250</b>	250	
9	807	1412	13.13	<b>9,31</b>	0.057	<b>1660</b>	332	
10	808	1413	11.20	3,50	0.194	<b>1675</b>	335	
11	725	1418	25.00	3,45	0.330	<b>1435</b>	287	
12	813	1415	12.70	5,83	0.129	<b>1400</b>	280	
13	814	1416	20.50	7,09	0.177	<b>1590</b>	318	
14	815	1419	13.30	5,28	0.154	<b>1390</b>	278	
15	817	1417	13.80	5,78	0.145	<b>1500</b>	300	
16	819	1420	25.00	4,32	0.512	<b>1255</b>	251	
17	820	1422	14.70	4,20	0.209	<b>1335</b>	267	
18	821	1423	13.50	4,11	0.198	<b>1200</b>	240	
19	811	1414	13.50	4,65	0,178	<b>1340</b>	268	
<b>20</b>	<b>821</b>	<b>1421</b>	<b>13,50</b>	<b>4,11</b>	<b>0,198</b>	<b>1200</b>	<b>240</b>	
Jumlah limbah terolah = 20 drum 200 liter								

**Tabel 4.** Data hasil pengolahan limbah padat sludge dan material lainnya

No.	Nomor Drum 200 L	Nomor Drum 100 L	Paparan Sebelum diolah (μSv/jam)	Paparan Setelah diolah (μSv/jam)	Koefesien Atenuasi (cm <sup>-1</sup> )	Densitas Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Drum 200 L (kg)	Jenis limbah yang diolah
1	773	1302	0,35	0,31	0,198	1555	311	Sludge
2	774	1292	0,50	0,33	0,069	1750	350	
3	772	1295	3.00	1,30	0.139	1700	340	
4	771	1298	3.50	0,65	0.281	<b>1670</b>	334	
5	775	1296	5.90	0,31	0.491	<b>1650</b>	330	
6	776	1300	1.05	0,33	0.193	<b>1670</b>	334	
7	755	1336	2.50	0,26	0.377	<b>1625</b>	325	Serbuk
8	757	1341	0.40	0,24	0.085	1825	365	
9	762	1340	1.20	0,24	0.268	1825	365	
10	751	1335	0.70	0,19	0.217	<b>1655</b>	331	
11	754	1331	1.50	0,25	0.295	1960	392	Botol reagent
12	752	1332	0.63	0,24	0.160	1915	383	
13	785	1383	0.90	0,20	0.251	1850	370	Posfat
14	777	1385	0.38	0,30	0.039	1825	365	
15	763	1388	15.20	1,91	0.346	1795	359	Bata, besi
16	747	1326	0.40	0,20	0.116	<b>1635</b>	327	Karet
17	749	1327	0.45	0,25	0.482	<b>1650</b>	330	
Jumlah limbah terolah = 17 drum 200 liter								